

Análise da relação de dados MODIS-EVI e TRMM da bacia do Purus no período do evento de seca de 2010

Tássia Alves Costa ¹
Pedro Jorge Bele Mateus ¹
Laura de Simone Borma ¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
tassinha@dsr.inpe.br
pedrobele@gmail.com
laura.borma@inpe.br

Resumo. Sabe-se que as florestas densas, tais como a Amazônica, possuem dinâmicas de vegetação complexas e, ao mesmo tempo, representam papel fundamental na captação de carbono e nas mudanças climáticas, sendo importante entender completamente estes ecossistemas. Uma das formas de se compreender estas dinâmicas são os índices de vegetação, tais como o EVI, que foi aprimorado para maximizar a resposta da vegetação verde. Alguns estudos realizados na Amazônia tem apresentado grande divergência de resultados no que diz respeito ao EVI do sensor MODIS e sua possível correlação com dados de precipitação nos extremos de seca ocorridos em 2005 e 2010. Diante disto, este trabalho objetivou relacionar as diferentes fontes de dados de sensoriamento remoto, neste caso dados do sensor MODIS-EVI e de precipitação TRMM, avaliando se, para o período que engloba a seca de 2010 e para a bacia do Purus localizada a sudoeste da Amazônia, há correlação entre eles. Para tanto, após a total extração e pré-processamento dos dados, gerou-se a estatística *boxplot* para as duas fontes de dados no período proposto, assim como suas distribuições espaciais. Para o período analisado, os resultados obtidos não apresentam correlação entre os dados EVI e TRMM para a escala de trabalho utilizada (toda a bacia do Purus) indicando a necessidade de maiores estudos sobre as dinâmicas espaciais e temporais da resposta da floresta em relação à chuva e as suas formas de representação, na escala de bacia.

Palavras-chave: floresta amazônica, índice de vegetação, precipitação.

1. Introdução

A principal função de um índice de vegetação é maximizar a resposta da vegetação verde, minimizando a influência de outros fatores indesejáveis sobre a reflectância de qualquer cobertura de vegetação. Este índice ideal não ocorre na prática, e isto vem sendo demonstrado por meio de diversos estudos propondo um grande número de diferentes índices após a primeira publicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1973). Apesar destas alterações, a maior parte dos índices de vegetação ainda é sensível aos efeitos geométricos (fonte-sensor-alvo) de aquisição de dados de satélites (Wardley, 1994; Epiphanyo e Huete, 1995; Chen et al., 2005; Galvão et al., 2009).

Apesar desta questão geométrica, existem trabalhos aplicados a interpretar e relacionar estes dados diretamente com o esverdeamento da vegetação, principalmente em florestas tropicais, cujas dinâmicas das vegetações são complexas tornando imperativo melhorar a compreensão acerca destes ecossistemas. Além disso, é fato que estas florestas possuem um importante papel na captação de carbono e considerável impacto sazonal na dinâmica do clima. E uma questão crucial e muito estudada nas bacias Amazônicas é o monitoramento do impacto das secas, relatados nos anos de 2005 e 2010, o qual somente é possível em grande escala a partir dos dados remotos de satélites e, geralmente, estes dados são os índices de vegetação. Neste âmbito, um produto do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) tem sido utilizado intensamente e, ainda assim, fazem-se necessárias diversas explicações acerca deste assunto.

O MODIS iniciou sua operação em fevereiro de 2000, e desde então tem como objetivo geral fornecer suporte a três segmentos do projeto “*Earth Observing System*” (EOS) que são:

atmosfera, oceano e continente, permitindo avanços em estudos que necessitam de uma maior resolução temporal (quase diária), aliada à moderada resolução espacial. Possui 36 bandas espectrais (com resoluções espaciais de 250 m, 500 m e 1 km no nadir, cobrindo uma faixa de 2.330 km de largura) que representam 44 produtos diferenciados que são utilizados em diversas áreas do conhecimento (Justice et al., 2002). Um deles é o MOD13 que apresenta informações relativas ao índice de diferença normalizada (NDVI) e ao índice de vegetação melhorado (EVI), que são produzidos globalmente com 1 km e 500 m de resolução e uma frequência de 16 dias e mensal.

O EVI foi desenvolvido para aperfeiçoar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade em regiões com maior densidade de biomassa, corrigindo distorções da luz refletida, causadas por material particulado suspenso no ar, assim como pela cobertura da terra embaixo do dossel da vegetação. Em áreas com grande quantidade de clorofila, como as florestas tropicais, o EVI não chega a se saturar facilmente como acontece com o NDVI. O EVI é mais sensível às variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o índice de área foliar (IAF), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (Huete et al., 2002). Ambos são importantes em trabalhos desenvolvidos para gerar informações sobre detecção de mudanças na vegetação e parâmetros biofísicos do dossel. Porém sabe-se que os índices são de difícil interpretação sobre áreas de florestas densas, pelo fato de apresentar saturação sobre estas regiões, interferência atmosférica diferente para cada banda óptica do MODIS, mudanças estruturais no dossel da floresta, e possíveis variações nas propriedades de reflectância devido à, por exemplo, idade das folhas (Brando et al., 2010).

Alguns estudos sugerem que a vegetação da Amazônia pode ser afetada pelo estresse hídrico (Zhao e Running, 2010) ou, inversamente influenciada pela irradiância solar, fato este evidenciado pelo esverdeamento durante a seca de 2005 (Huete et al., 2006; Saleska et al., 2007). Brando et al. (2010) disse que o vigor e o desenvolvimento das gemas apicais, ocorrem de maneira sincronizada e esta seria a causa do aumento no EVI durante a seca. É neste contexto que nota-se a importância de se entender como funcionam estes dados de índices de vegetação e de saber interpretá-los, tentando relacioná-los com a precipitação de maneira a compreender se realmente de que maneira a floresta Amazônica sofre com o estresse hídrico durante os eventos de seca.

Um dos satélites com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global, foi o TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) que é um projeto de parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA) e foi lançado em 27 de novembro de 1997, (Kummerow et al., 1998). Em função de ser o satélite mais bem equipado em termos de instrumentos para estimativa de precipitação, o satélite TRMM fornece estimativas mais precisas do que as técnicas indiretas baseadas em imagens de outros satélites (Barrera, 2005), sendo usado inclusive para validação dessas técnicas.

Diante do exposto, este estudo objetivou relacionar os dados MODIS-EVI e de precipitação TRMM, avaliando se, para os meses analisados e para a região da bacia do Purus, há correlação entre eles.

2. Metodologia de Trabalho

O Rio Purus nasce no Peru, a cerca de 500 metros de altitude, tendo a característica de ser uma bacia trans-fronteiriça, localizada a sudoeste da floresta Amazônica, cobrindo áreas dos estados do Amazonas, Acre e dos países vizinhos ao Brasil, Peru e Bolívia. Estende-se por cerca de 3.218 km até a foz, no rio Solimões, e apresenta um clima quente e úmido com duas estações seca e chuvosa bem definidas Brasil (1976). Por possuir um grande número de habitats definidos a partir dos movimentos do rio com longas áreas de inundação, à bacia do Purus atribui-se uma grande importância ambiental. Além disso, ainda que haja uma pressão

de ocupação de fronteira econômica, o grau de conservação dos ambientes naturais da bacia é relativamente alto.

Segundo Trancoso et al. (2005), a bacia do Purus, no estado do Acre possui relativamente menos áreas alteradas pelo desmatamento que os demais rios da margem direita na bacia do Amazonas (com exceção do Juruá), e esta conservação é garantida por meio de Terras Indígenas e Unidades de Conservação.

A área de estudo está representada na Figura 1 a seguir:

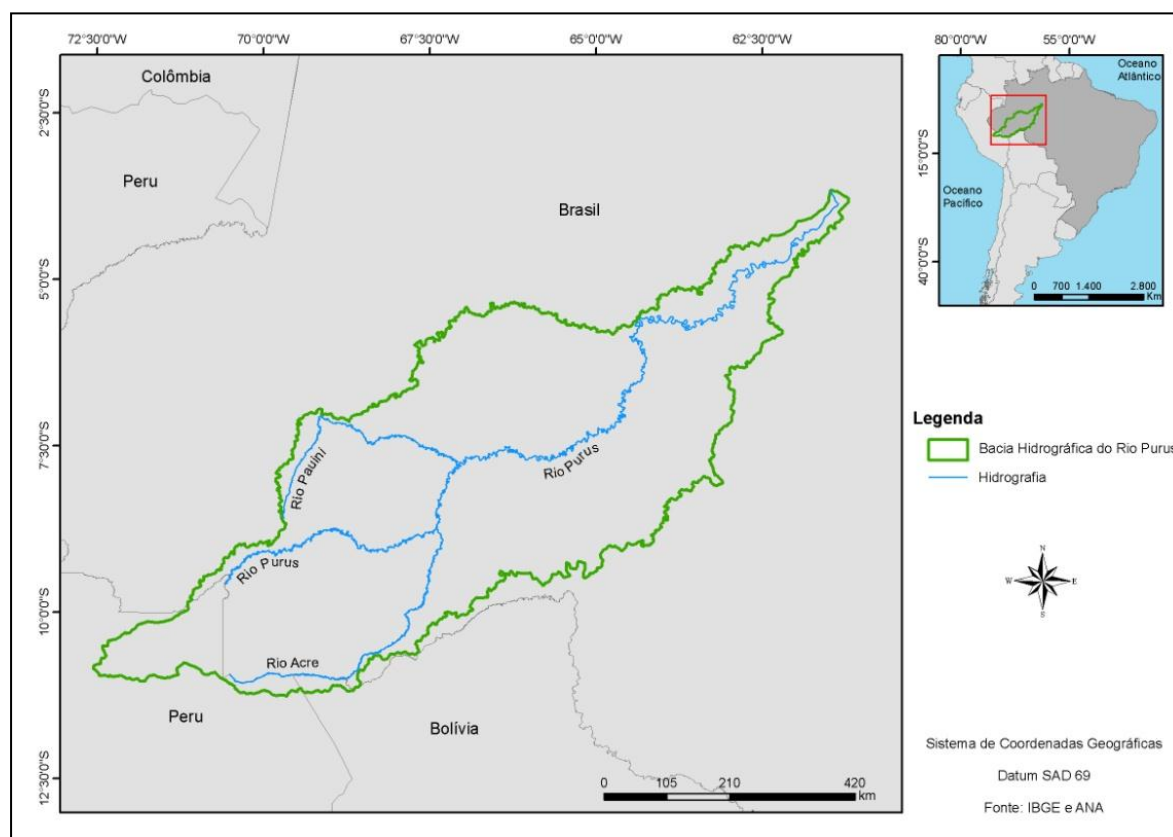


Figura 1. Área de estudo (elaborado por Pétala Augusto).

Os produtos de sensoriamento remoto utilizados nesta área de estudo foram:

-Dados mensais de precipitação do TRMM, produto 3B43 versão 7, (<http://disc.gsfc.nasa.gov/giovanni>) para análise da variação da precipitação durante o período do ciclo hidrológico, de outubro de 2009 a setembro de 2011, englobando assim o ano de 2010. Sua resolução espacial é de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Estas imagens encontram-se no formato *Hierarchical Data Format* (HDF) e foram extraídas pelo programa *MatLab* 2011a para o formato *.dat* e depois para *geotiff*.

- Dados mensais do MOD13A3 (*Vegetation Indices Monthly L3*) referindo-se ao índice de vegetação EVI, (<http://reverb.echo.nasa.gov/>) para o período de dezembro de 2009, janeiro, agosto e setembro de 2010 e agosto e setembro de 2011. Sua resolução espacial é de 1 Km. Estas imagens foram convertidas também do formato (hdf) para o formato *geotiff* pelo aplicativo *MODIS Reprojection Tool 3.3* (MRTTools), onde também foi selecionada a projeção geográfica e o Datum WGS84.

Após esta primeira fase os dados de precipitação foram recortados usando uma máscara do Purus (produzida a partir de dados do IBGE e ANA) no programa *ArcGis 9.3*, e após exportados ao programa *Matlab* para as posteriores análises que serão apresentadas a seguir. Para os dados MODIS-EVI, fez-se os mosaicos de 3 *tiles* (h10v10, h11v09 e h11v10) no programa *ENVI 4.3* para cada data, recortados com a mesma máscara utilizada para os dados

TRMM, e também exportados para o *MatLab*. No *ArcGis* os dados MODIS-EVI foram reamostrados para a resolução do TRMM.

A Equação 1 mostra a fórmula do produto do MOD13A3-EVI:

$$EVI = \frac{G \times (\rho_{NIR} - \rho_{red})}{(\rho_{NIR} + C1 \times \rho_{red} - C2 \times \rho_{blue} + L)}, \quad (1)$$

Em que: ρ_{NIR} é a reflectância do infravermelho próximo; ρ_{red} é a reflectância do vermelho; ρ_{blue} é a reflectância do azul; C1 é o coeficiente de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera no vermelho; C2 é o coeficiente de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera no azul; L é o fator de ajuste para o solo e G é o fator de ganho (Jensen, 2009). Os valores destes coeficientes são empiricamente determinados.

Após isto, os dados EVI foram distribuídos espacialmente ao longo da bacia para cada mês, mostrando sua variabilidade. Observaram-se também suas distribuições juntamente com os dados de precipitação em gráficos onde se compararam as médias a cada mês. Gerou-se para o índice de vegetação a estatística *boxplot* no período considerado neste trabalho. Estas etapas foram executadas no programa *MatLab*.

3. Resultados e Discussão

A seguir são demonstradas as figuras com os resultados e suas respectivas análises.

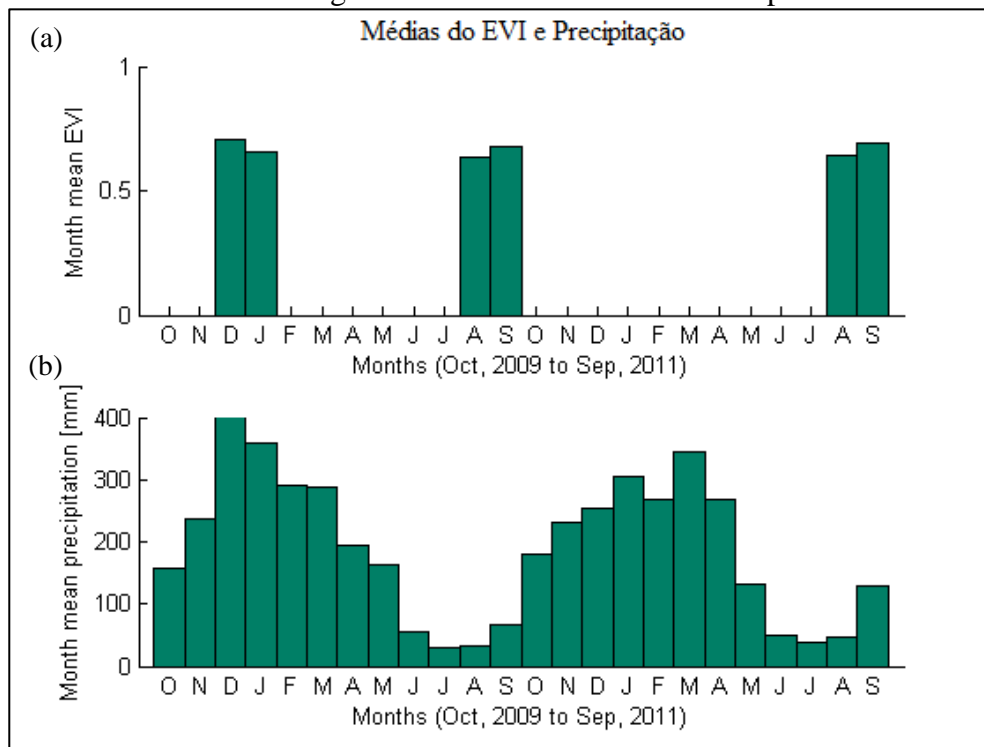


Figura 2. a) média do EVI para cada mês. b) média da distribuição da precipitação ao longo de todo o ciclo hidrológico (de outubro de 2009 a setembro de 2011).

Observa-se que a média do EVI para os meses considerados para todos os pixels da bacia do Purus não apresentou alteração considerável (Figura 2a), apesar do gráfico da precipitação demonstrar variações significativas entre o período chuvoso (outubro a março) e o período seco (abril a setembro) (Figura 2b). O que se pode observar de relação entre o EVI e a precipitação é que o índice acompanhou as alterações da precipitação, porém isto não foi

suficiente para que ambos apresentassem uma correlação estatística. Por exemplo, em agosto de 2010 a precipitação foi bem menor do que em janeiro de 2010, no entanto o EVI não obteve a variabilidade nos dados proporcionalmente aos de precipitação.

Para uma análise acerca da distribuição dos dados a cada mês, utilizou-se a estatística *boxplot*. Seguem nas Figuras 3 e 4 os *boxplots* do EVI e da precipitação, respectivamente.

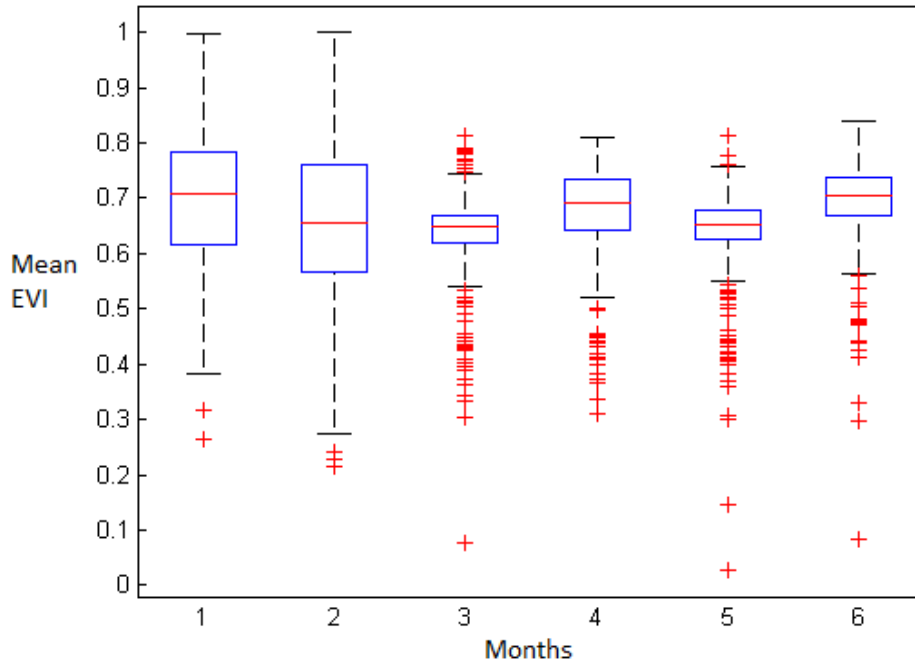


Figura 3. *Boxplots* dos dados EVI na sequência de meses e anos estudados.

Os *boxplots* apresentados na Figura 3 mostram que nos meses chuvosos (dezembro e janeiro), embora as médias tenham sido similares entre si, a variância entre os dados foi maior. Já para os meses de seca (agosto e setembro), a variância foi consideravelmente menor, embora o mês de setembro tenha apresentado maior variância nos dados do que o mês de agosto. Deve-se atentar que os *outliers* nos meses de seca claramente influenciaram na média destes dados, fato que não ocorreu com tanta intensidade nos meses chuvosos.

Em um estudo desenvolvido na floresta Amazônica por Lee et al. (2013) os resultados mostraram que para a região central a fluorescência e o MODIS-EVI diminuíram significativamente durante a estação seca se comparada com a estação chuvosa, enquanto que o índice de área foliar (LAI) do sensor MODIS aumentou na estação seca.

Santos et al. (2009) analisaram o EVI para o Pantanal entre 2000 e 2008 e observaram que os maiores índices ocorrem entre outubro e abril, com pico no mês de janeiro. A partir do mês de abril, o EVI começa a decrescer em função da diminuição da precipitação. Nicácio et al. (2009) mostrou que a resposta dos índices de vegetação na região varia em função tanto das características de cobertura, como também da variabilidade da precipitação.

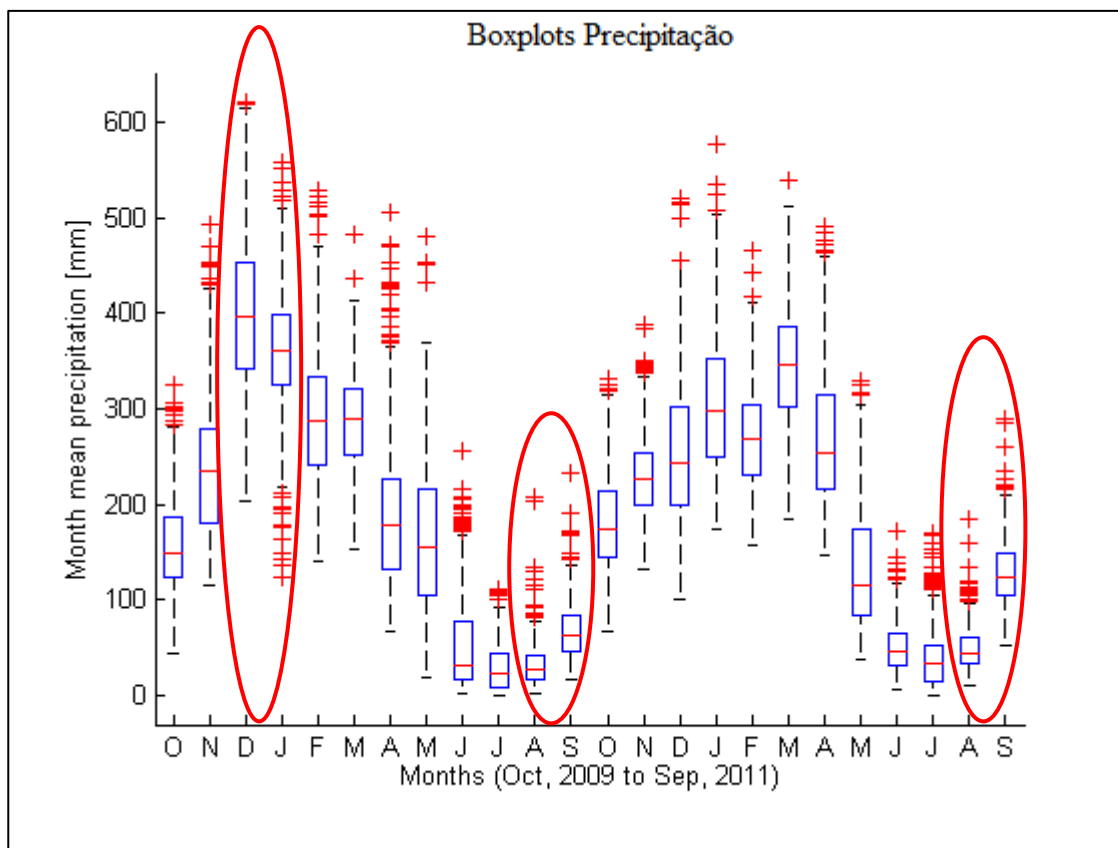
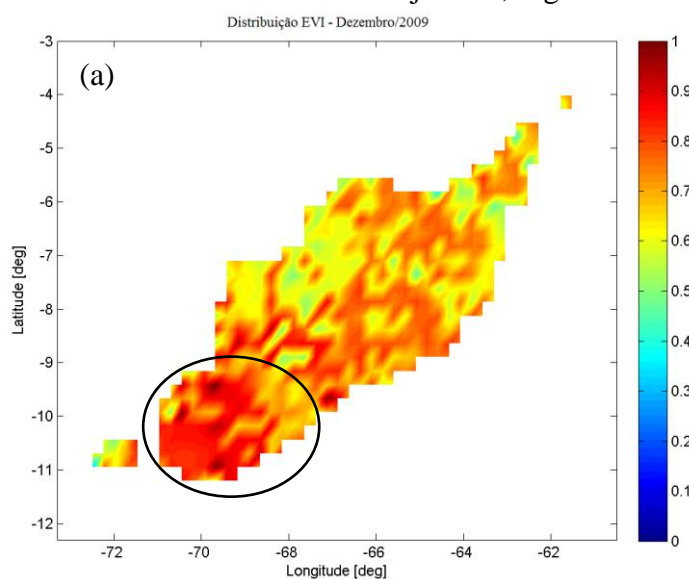


Figura 4. *Boxplots* dos dados de precipitação em todo o ciclo hidrológico, em destaque os meses utilizados para comparação com o EVI.

Na Figura 4 nota-se uma similaridade na variabilidade dos dados se compararmos mês a mês. Esta se apresentou maior nos meses chuvosos, já para os meses de seca a variabilidade foi menor, assim como para os dados EVI mostrados na figura anterior, ocorrendo também *outliers* que certamente influenciaram no valor da média.

As Figuras 5 a 10 apresentam a variação espacial do EVI e da precipitação para a bacia do Purus, para os meses de dezembro de 2009 e janeiro, agosto e setembro de 2010.



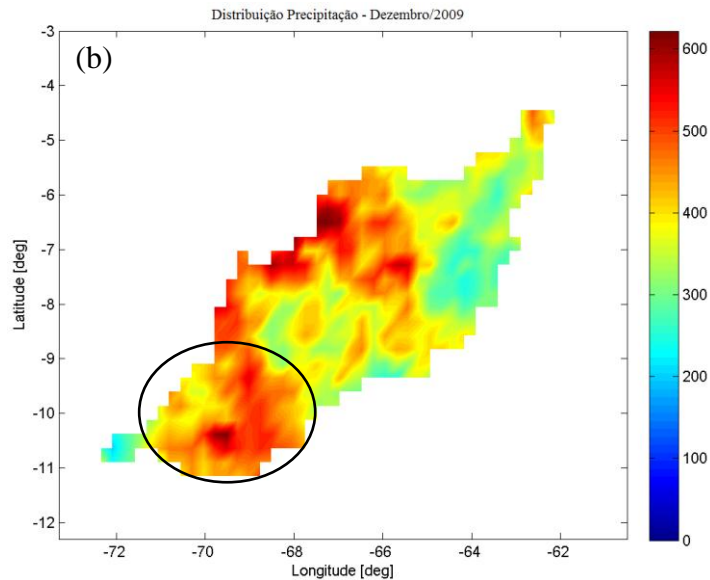
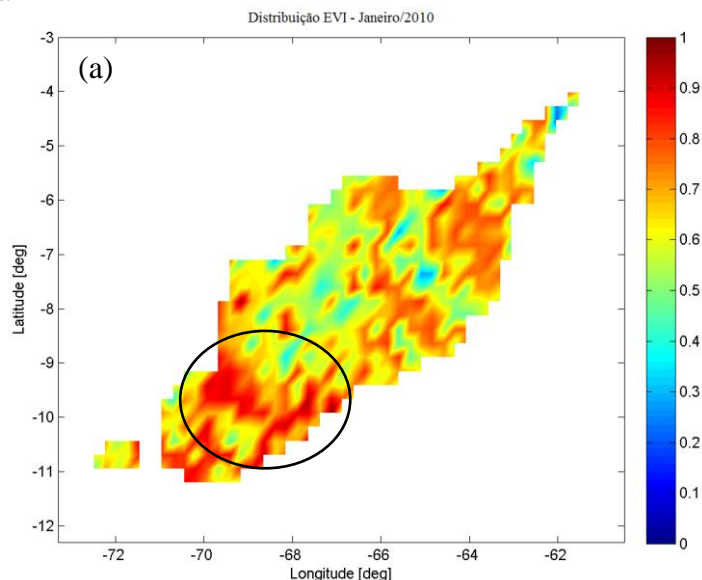


Figura 5. Distribuição espacial em dezembro de 2009: (a) EVI e (b) precipitação.

Através da Figura 5, observa-se que os maiores valores de EVI (entre 0,80 e 1), concentram-se na região sudoeste da bacia (Figura 5a), região essa que apresenta os maiores valores de precipitação (entre 500 e 600 mm mensais) (Figura 5b). Na porção central da bacia, o EVI varia entre 0,70 e 0,80 e a precipitação média do mês está na faixa dos 300 mm. Já na porção norte e próximo à fronteira leste em torno de 0,60, porém, a média mensal de chuva variou consideravelmente: de cerca de 500 mm ao norte da bacia e cerca de 300 mm a leste. Ao comparar o EVI e a precipitação nota-se que na região sudoeste, onde houve uma concentração maior de chuvas, houve também um elevado EVI, o mesmo não ocorrendo com a região norte da bacia.



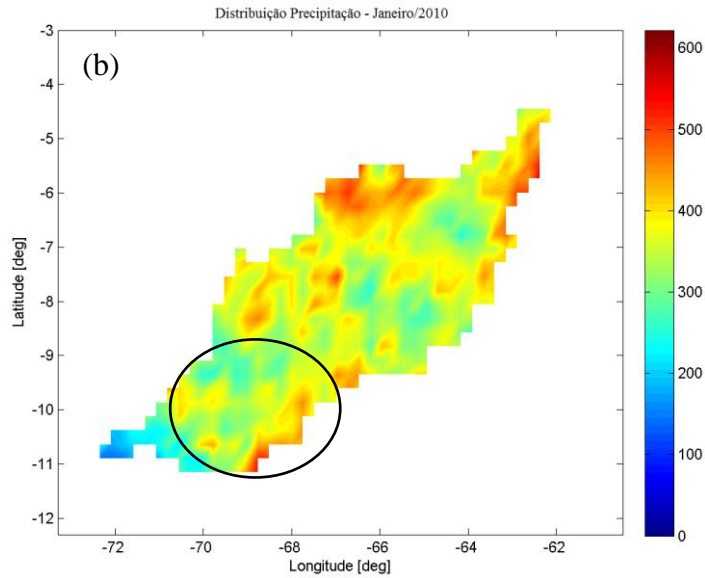
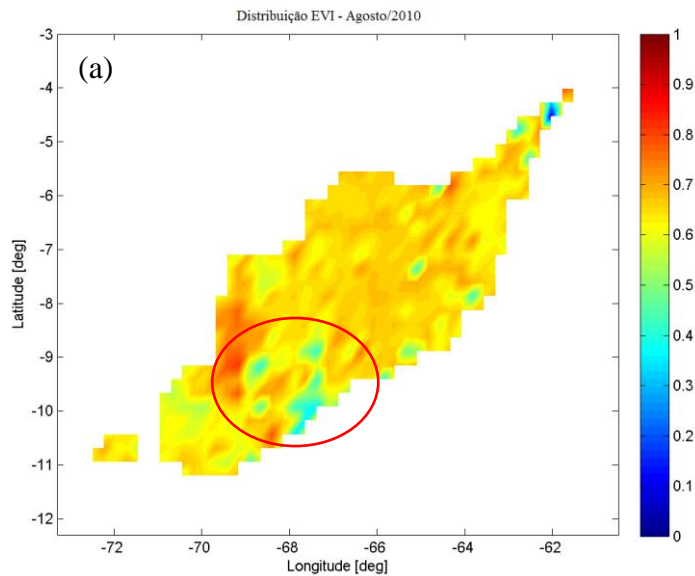


Figura 6. Distribuição espacial em janeiro de 2010: (a) EVI e (b) precipitação.

Como visto na Figura 6a, os valores de EVI a sudoeste da bacia também foram maiores, como ocorrido em dezembro (entre 0,80 e 1), região esta que apresenta valores de precipitação entre 250 e 450 mm (Figura 6b). Na porção central da bacia os dados variaram em torno de 0,40 e 0,70. Já a norte e próximo a fronteira leste obteve-se resultado similar ao mês de dezembro, porém a média mensal de chuva se manteve em 500 mm. Apesar desta similaridade, em janeiro houve uma diminuição dos valores do índice se comparados ao mês anterior.



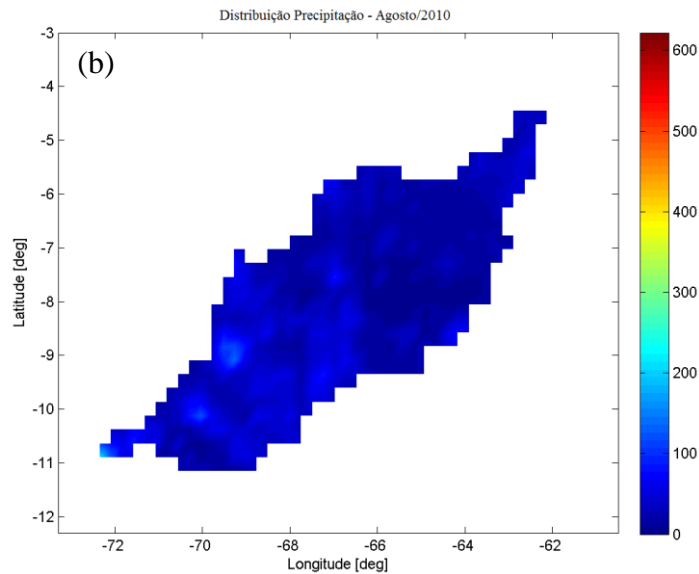
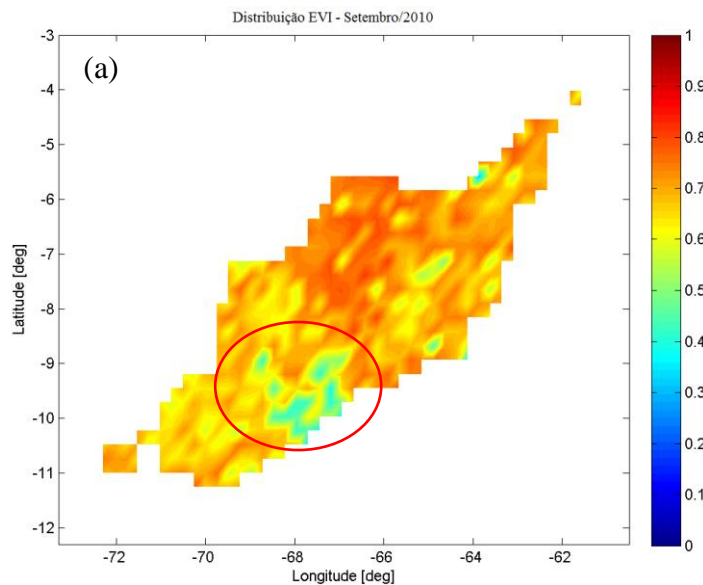


Figura 7. Distribuição espacial em agosto de 2010: (a) EVI e (b) precipitação.

Idem ao mês analisado anteriormente, para agosto de 2010, os valores de EVI (Figura 7a) mantiveram-se homogêneos em grande parte da bacia, variando entre 0,60 e 0,75, aparecendo pontualmente dados em torno de 0,40 a sudoeste da bacia (em vermelho) os quais foram os menores, e 0,80 que foram os maiores. Na Figura 7b observa-se a mesma homogeneidade para as informações de precipitação concentrando-se principalmente abaixo dos 100 mm. Os dados especializados confirmam os resultados apresentados nos *boxplots* que mostram pouca variabilidade nos meses de estação seca.



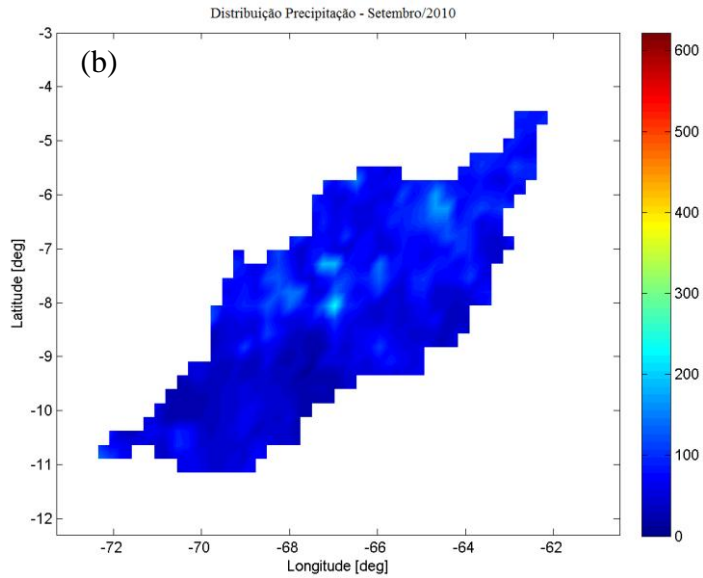
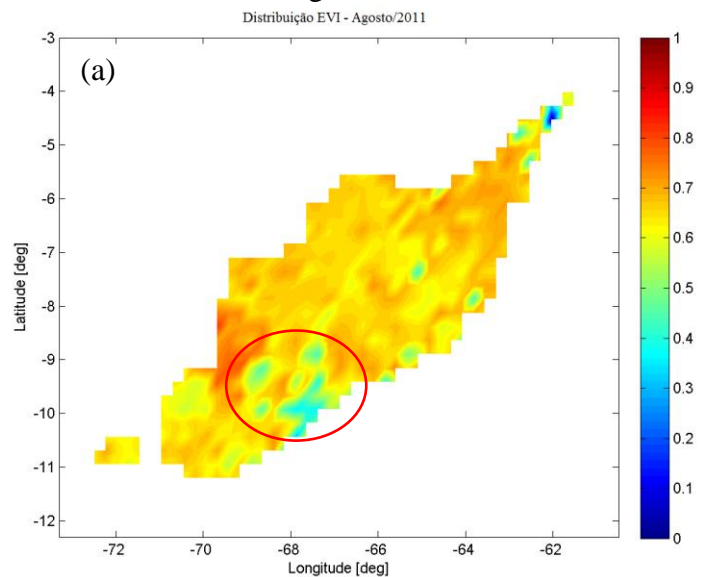


Figura 8. Distribuição espacial em setembro de 2010: (a) EVI e (b) precipitação.

Para setembro de 2010, os dados obtiveram maior variabilidade se comparados ao mês de agosto do mesmo ano, como mostram as Figuras 8a e 8b. O índice apresentou a sudoeste da bacia (o que já havia ocorrido para os meses analisados anteriormente) valores em torno de 0,40 (em vermelho), de 0,70 a 0,80 ao norte e centro da região, onde, em média, ocorreram os maiores valores, e o restante se concentrou em 0,60. A distribuição de precipitação manteve-se em 150 mm, apresentando-se, portanto, homogênea, com pequenas nuances na região sudoeste, na qual ocorreram os valores mais baixos, podendo ser relacionados ao menor EVI como mostrados em vermelho em ambas as figuras.



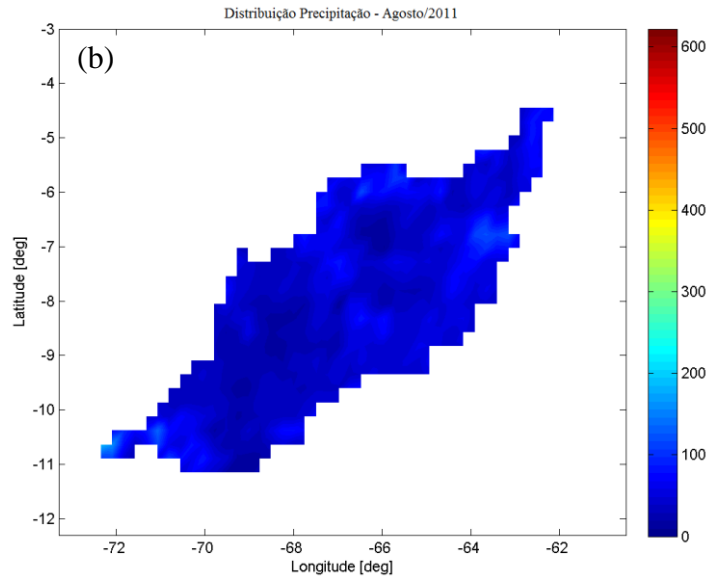
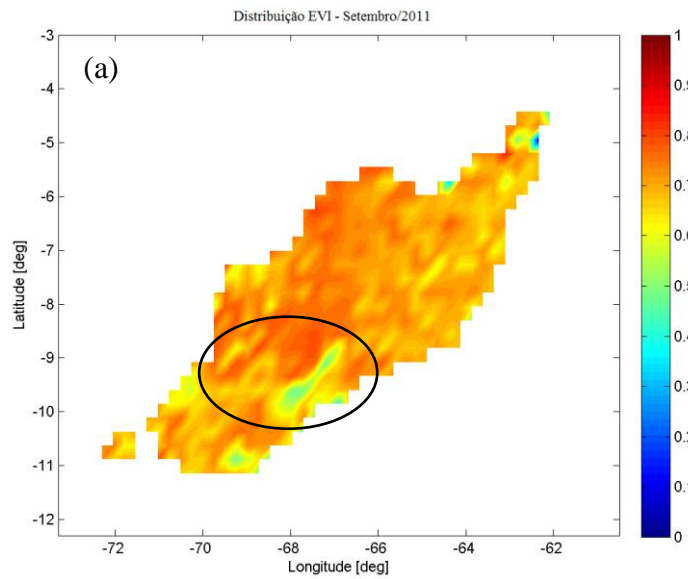


Figura 9. Distribuição espacial em agosto de 2011: (a) EVI e (b) precipitação.

A Figura 9a e 9b possuem características similares às observadas para o mês de agosto de 2010.



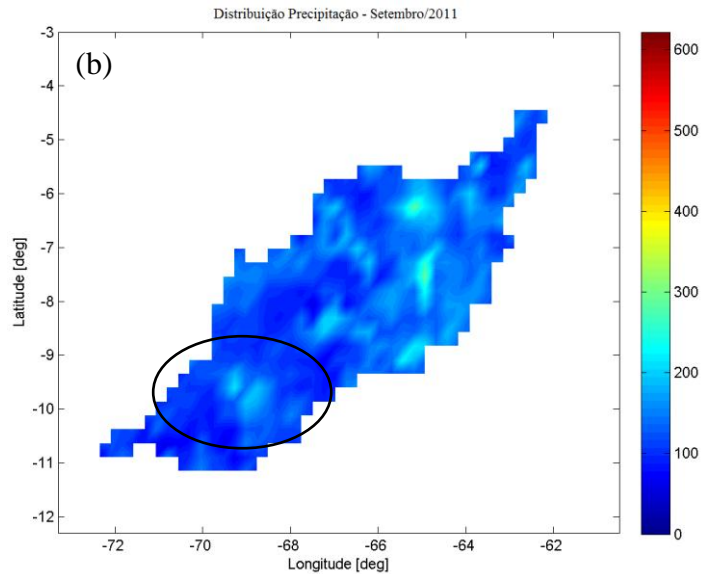


Figura 10. Distribuição espacial em setembro de 2011: (a) EVI e (b) precipitação.

Na Figura 10a observa-se grande similaridade com os dados de agosto de 2011, variando apenas no fato de que os de setembro de 2011 apresentaram alguns valores mais altos na porção central, em torno de 0,80. Para a precipitação (Figura 10b) houve também um aumento considerável de seus valores, entre 150 e 200 mm, com algumas porções em 250 mm. Contudo, nota-se homogeneidade ao longo da bacia.

No que diz respeito à completa compreensão dos dados de índices de vegetação (MODIS) e de precipitação (TRMM), assim como nas suas relações, há uma gama de estudos divergentes, como: Saleska et al. (2007) utilizando dados MODIS-EVI, concluiu que houve um aumento significativo do esverdeamento da vegetação da Amazônia durante a seca de 2005; mais tarde Samanta et al. (2010) refutaram estes resultados dizendo que o aumento no EVI estaria associado a uma mudança estrutural do dossel e não ao aumento da atividade fotossintética; já de acordo com Philips et al. (2009) e Anderson et al. (2010), em suas análises relacionando índices de vegetação e mortalidade de árvores, mostraram que locais com altas taxas de mortalidade em 2005 tenderam a possuir elevado EVI e concluiu que valores positivos do EVI não indica aumento do índice de área foliar e da produtividade na floresta amazônica e que a perda de folhas nas árvores mais altas reduz a fração sombra (Anderson et al., 2011) em épocas de seca.

De acordo com Huete et al. (2006), a disponibilidade hídrica das áreas de floresta propiciaria uma estabilidade na atividade fotossintética e consequente produção de fitomassa foliar mantida (ou com pequena queda) na época seca.

Segundo Becerra et al. (2009), em um estudo em área de cerrado da Amazônia Legal, seus resultados indicam uma relação positiva entre a variável precipitação e o EVI das principais classes de vegetação que caracterizam o Cerrado e das classes de uso da terra, agricultura e pastagem, ao longo de um ciclo anual. Já para a classe floresta a análise do índice EVI indica que não houve decréscimos significativos na estação seca. Resultados similares obteve Linares (2012), em estudo conduzido nos Parques Nacionais do Cerrado localizados em diversos estados brasileiros. Este concluiu que o acúmulo de biomassa verde (representada pelos valores máximos encontrados nas séries EVI) está relativamente sincronizado com a precipitação e que estes dados multitemporais MODIS-EVI e TRMM, foram eficientes na caracterização da dinâmica espectral e de precipitação. Revela também que houve forte redução da atividade fotossintética durante a estação mais rigorosa,

convergadas pelas tendências exibidas pelos índices de vegetação e com as variações de precipitação.

Segundo ainda Asner e Alencar (2010), embora os dados MODIS sejam submetidos a processos de correção atmosférica, existe grande chance de contaminação dos dados por presença de nuvens e aerossóis, que são difíceis de serem detectados e corrigidos na resolução espacial do MODIS, podendo alterar os valores de índice de vegetação, sem qualquer alteração na condição do solo.

De acordo Jamali et al. (2011), em locais da África sub-Saariana para o período de 2005-2009, pode-se concluir que houve forte correlação do NDVI e EVI com a precipitação (0,47-0,80, sendo o EVI ligeiramente superior do que o NDVI). Estes índices responderam às variações na precipitação durante 24-32 dias com uma correlação mais forte do que em regiões do hemisfério sul onde as relações são mais complexas. Além disso, os resultados mostraram que NDVI e EVI são altamente correlacionadas com a umidade do solo em profundidade de até 1 m (0,40-0,89) em todos os locais estudados durante a estação de crescimento para o mesmo período.

Atkinson et al. (2011), em seu trabalho também realizado na região da floresta Amazônica utilizando dados MODIS-EVI e de precipitação TRMM, mostrou os seguintes resultados: [1] Os anos de 2005 e 2010 não foram os anos de máximo declínio para a maioria das áreas florestais. Assim, não houve queda generalizada no esverdeamento da vegetação (para ambos os índices NDVI e EVI), devido à seca; [2] Houve uma tendência de queda geral no esverdeamento da vegetação ao longo do período de 2000 a 2010. No entanto, estas não são significativas para a maioria da bacia amazônica, exceto nas bordas da floresta intacta e em direção ao sul e sudeste, onde perturbação e o desmatamento aconteceram; [3] Este estudo não conclui que a produtividade primária da floresta Amazônica não responde à seca, e sim uma incapacidade dos índices de vegetação adquiridos remotamente em detectar as respostas desta floresta nestes eventos de seca.

Recentemente Morton et al. (2014) disse que já sabe-se que os produtos MODIS EVI e LAI são muito sensíveis às mudanças de reflectância no comprimento de onda do infravermelho próximo (NIR) e que existem diversas situações em que isto ocorreria na floresta amazônica. Em seu estudo foram usados produtos MODIS-EVI e dados Lidar e os seus resultados mostraram que: alterações na reflectância da serapilheira ocasionam aumento no EVI, e estas alterações ocorrem devido ou a sua maior profundidade ou pela diminuição de sua umidade durante a estação seca; aumento da reflectância da folha levou a um aumento de 32-35% no EVI mantendo-se as mesmas propriedades dossel; as mudanças sazonais na geometria do sensor diminuíram o NDVI e o EVI; a remoção de contaminação atmosférica devido a geometria sol-sensor, na região do vermelho e NIR, eliminou a aparência de esverdeamento no EVI durante os meses da estação seca, o que pôde portanto explicar os relatos anteriores que apresentou valores de EVI mais elevados sobre a floresta da Amazônia durante condições de seca.

A partir dos resultados deste estudo e da bibliografia apresentada, nota-se que a técnica estatística utilizada não foi adequada para estes dados da bacia, de acordo com os resultados expostos nos *boxplots*. E claramente observa-se que ainda há muitas contradições com relação à correta utilização dos dados de índices de vegetação do sensor MODIS e que se faz necessário saber todas as limitações deste produto, tentando diminuir ou sanar seus erros, como a geometria de aquisição do sensor ou mesmo as propriedades intrínsecas ao alvo em questão, ou ainda as variações na fenologia e estrutura do dossel das florestas densas. Neste trabalho não se obteve um resultado que correlacione o EVI e a precipitação para os seis meses analisados nesta área de estudo, deixando evidente que se faz necessária à utilização de outras técnicas que representem esta região da bacia do Purus.

4. Conclusões

Conclui-se que:

- não houve correlação entre os dados MODIS-EVI e de precipitação TRMM para toda a bacia do Rio Purus nos meses analisados neste estudo;
- somente para os meses da estação chuvosa (dezembro/2009 e janeiro/2010) foi constatada uma variação em ambos dados à sudoeste da bacia, quando estes foram analisados espacialmente;
- os *boxplots* demonstraram, para o EVI e TRMM, maior variabilidade nos meses da estação chuvosa do que na estação seca, porém ocorreu a presença de mais *outliers* nos meses da estação seca do que na chuvosa, evidenciando que a média representa de forma mais adequada os dados dos meses de dezembro e janeiro do que dos meses de seca para esta bacia;
- é necessária a continuidade deste trabalho buscando outras técnicas estatísticas e/ou espaciais que melhor analisem e representem a bacia do Rio Purus assim como mais estudos neste âmbito.

Referências Bibliográficas

- Anderson, L. O.; Malhi, Y.; Aragão, L. E. O. C.; Ladle, R.; Arai, E.; Barbier, N.; Phillips, O. Remote sensing detection of droughts in Amazonian forest canopies. **New Phytol.**, v. 187, p. 733–750, 2010. doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03355.x.
- Anderson, L.O.; Shimabukuro, Y.E; Aragão, L.E.O; Huete, A. Fraction images derived from Terra/MODIS data: monitoring intra-annual phenology in Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n.2, p.387-408, 2011.
- Atkinson, P. M.; Dash, J.; Jeganathan, C. Amazon vegetation greenness as measured by satellite sensors over the last decade, **Geophys. Res. Lett.**, v. 38, L19105, 2011. doi:10.1029/2011GL049118.
- Asner, G. P., and A. Alencar (2010), Drought impacts on the Amazon forest: The remote sensing perspective, **New Phytol.**, 187, 569–578,doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03310.x.
- Barrera, D. F. Precipitation estimation with the hydro-estimator technique: its validation against raingage observations. In: VII CONGRESSO DA IAHS, Foz do Iguacu, 3-9 de abril de 2005.
- Becerra, J. A. B.; Shimabukuro, Y. E.; Alvalá, R. C. dos S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p.125-134, 2009.
- Brando, P.M.; Goetz, S.J.; Baccini, A.; Nepstad, D.C.; Beck, P.S.A.; Christman, M.C. Seasonal and interannual variability of climate and vegetation indices across the Amazon. **Proc. Natl Acad. Sci. USA**, v. 107, n. 14, p. 685–14 690, 2010. (doi:10.1073/pnas. 0908741107).
- Brasil. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra.** Folha SC. 19 Rio Branco. Rio de Janeiro: Divisão de publicação, v.12, 1976. 464p.
- Chen, D.; Huang, J.; Jackson, T.J. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands. **Remote Sens Environ**, v. 98, p. 225–236, 2005.
- Epiphanyo, J.C.N.; Huete, A.R. Dependence of NDVI and SAVI on sun/sensor geometry and its effect on fAPAR relationships in Alfalfa. **Remote Sens Environ**, v. 51, p. 351-360, 1995.
- Galvão, L.S.; Roberts, D.A.; Formaggio, A.R.; Numata, I.; Breunig, F.M. View angle effects on the discrimination of soybean varieties and on the relationships between vegetation indices and yield using off-nadir Hyperion data. **Remote Sens Environ**, v. 113, p. 846-856, 2009.

- Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.195-213, 2002.
- Huete, A.R.; Didan, K.; Shimabukuro, Y.E.; Ratana, P.; Saleska, S.R.; Hutyrá, L.R.; Yang, W.; Nemani, R.R.; Myneni, R. Amazon forests green-up with sunlight in dry season. **Geophys. Res. Lett.**, v. 33, L06405, 2006. (doi:10.1029/2005GL025583).
- Jamali, S.; Seaquist, J.; Eklundh, L.; Ardö, J. 2011. Investigating temporal relationships between rainfall, soil moisture and MODIS-derived NDVI and EVI for six sites in Africa, 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Sydney, April 10-15, Australia.
- Jensen, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em Recursos Terrestre**. 2ª ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.
- Justice, C. O.; Townshend, J.R.G.; Vermote, E.F.; Masuoka, E.; Wolfe, R.E.; Saleous, N.; Roy, D.P.; Morisette, J.T. An overview of MODIS land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.3-15, 2002.
- Kummerow, C.; Barnes, W.; Kozu, T.; Shiue, J.; Simpson, J. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. **Journal of Atmospheric and Ocean Technology**, v. 15, p. 809–817, 1998.
- Lee J. E, et al. Forest productivity and water stress in Amazonia: Observations from GOSAT chlorophyll fluorescence. **Proc Biol Sci**, v. 280(1761), p. 1-9, 2013.
- Linares, J.A.H. **Análise multitemporal de imagens MODIS dos Parques Nacionais do Cerrado: EVI como uma das ferramentas para seleção de áreas de conservação**. 2012. 104p. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2012.
- Morton, D.; Nagol, J.; Carabajal, C.; Rosette, J.; Palace, M.; Cook, B.; Vermote, E.; Harding, D. & North, P. Amazon forests maintain consistent canopy structure and greenness during the dry season. **Nature**, v. 506(7487), p. 221-224, 2014. doi:10.1038/nature13006
- Nicácio, R. M.; Araujo, L. L.; Gonzaga, E. P.; Libos, M.; Oliveira, L. M. T. Relação NDVI e precipitação na bacia do rio Coxim – MS. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2. (GEOPANTANAL), 2009. Corumbá. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2009. CD-ROM.
- Phillips, O.L., Aragao, L.E.O.C., Lewis, S.L., Fisher, J.B., Lloyd, J., Lopez-Gonzalez, G., Malhi, Y., Monteagudo, A., Peacock, J., Quesada, C.A., van der Heijden G., Almeida, S., Amaral, I., Arroyo, L., Aymard, G., Baker, T.R., Banki, O., Blanc, L., Bonal, D., Brando, P., Chave, J., de Oliveira, A.C.A., Cardozo, N.D., Czimczik, C.I., Feldpausch, T.R., Freitas, M.A., Gloor, E., Higuchi, N., Jimenez, E., Lloyd, G., Meir, P., Mendoza, C., Morel, A., Neill, D.A., Nepstad, D., Patino, S., Penuela, M.C., Prieto, A., Ramirez, F., Schwarz, M., Silva, J., Silveira, M., Thomas, A.S., ter Steege, H., Stropp, J., Vasquez, R., Zelazowski, P., Davila, E.A., Andelman, S., Andrade, A., Chao, K.-J., Erwin, T., Di Fiore, A., Honorio C., E., Keeling, H., Killeen, T.J., Laurance, W.F., Cruz, A.P., Pitman, N.C.A., Vargas, P.N., Ramirez-Angulo, H., Rudas, A., Salamao, R., Silva, N.; Terborgh, J.; Torres-Lezama, A. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. **Science**, v. 323, p. 1344-1347, 2009.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, 1973, FREDEN SC, MERCANTI EP and FRIEDMAN DB (Ed), Washington- DC Proceedings....., STANLEY C ET AL. Washington- DC, p. 309-317.
- Saleska, S.R.; Didan, K.; Huete, A.R.; da Rocha, H.R. Amazon forests green-up during 2005 drought. **Science** v-318, n. 612, 2007. (doi:10.1126/science.1146663).
- Samanta, A., S. Ganguly, H. Hashimoto, S. Devadiga, E. Vermote, Y. Knyazikhin, R. R. Nemani, and R. B. Myneni (2010), Amazon forests did not green-up during the 2005 drought, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L05401, doi:10.1029/2009GL042154.
- Santos, J. S.; Pereira, G.; Shimabukuro, Y. E.; Rudorff, B. F. T. Identificação de áreas alagadas no bioma Pantanal – Brasil – utilizando dados multitemporais Terra/ MODIS. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2. (GEOPANTANAL), 2009. Corumbá. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2009. CD-ROM.

Trancoso, R.; Carneiro Filho, A.; Ferreira, D. A. C.; Nogueira, S. P. Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta para o diagnóstico e gestão de macrobacias no arco do desmatamento na Amazônia. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 de abril, 2005. *Anais*. INPE, p. 2405-2412. 2005.

Xu, L., A. Samanta, M. H. Costa, S. Ganguly, R. R. Nemani, and R. B. Myneni (2011), Widespread decline in greenness of Amazonian vegetation due to the 2010 drought, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L07402, doi:10.1029/2011GL046824.

Zhao, M.; Running, S.W. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. **Science**, v. 329, p. 940–943, 2010. (doi:10.1126/science.1192666).

Wardley, N.W. Vegetation index variability as a function of viewing geometry. **Int J Remote Sens**, v. 5, p. 861-870, 1984.